

交差点における自動車排出ガス量推計手法の開発* Measurement of the Car Gas Emission Considering the Vehicle Action

金山直司** 古屋秀樹*** 岡本直久*** 石田東生***

by Tadashi KANAYAMA, Hideki FURUYA, Naohisa OKAMOTO and Haruo ISHIDA

1. 研究の目的

近年、自動車排出ガスを起因とする大気環境問題が深刻化している。このような大気環境問題は対象とする圏域の大きさにより2つに大別できる。まず、比較的広範囲を対象とする場合である。この場合、汚染物質の排出総量が問題とされるケースが多く、それに対応した広範囲の自動車排出ガス量を算出する手法として、旅行速度別排出ガス原単位に自動車通過台数を乗じる方法がある。

一方、狭い範囲、特にビルの林立や高架道路の存在により汚染物質の拡散が進まない地域では、排出総量に加え、地点別の排出量把握の必要性が高い。また、信号交差点の存在によって生じる加速・減速による影響が考えられる。本研究では、特に後者に該当するHot Spotでの自動車排出ガス量の推計を目的として分析を行うものとする。

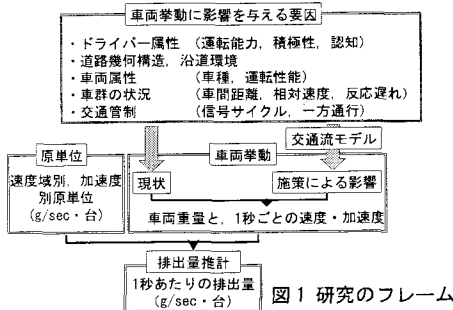


図1 研究のフレーム

2. 排出ガス量推計の考え方

本研究では、個別車両の速度・加速度の挙動とそれに対応した排出ガス原単位から1秒単位の排出ガス量を算出し、そして対象区間・対象時間に通る車両の排出量を総和することによりHot Spotでの環境負荷を推計するものである(図1)。この原単位であるが、矢島¹⁾によって示された、実走行モードを再現できるシャーシダイナモで得

られた1秒ごとの速度と排出ガス量のデータをもとに作成された、速度、加速度、積載量を考慮できる排出原単位(原単位:g/sec)を用いるものとする(図2)。一方、車両挙動は先述した計測単位を満たした上で、現状把握とともに、道路幾何、交通管制の変更による影響分析も必要と考えられる。この場合、交通流シミュレーションモデルの構築が必要となるが、本研究では特に現状に着目するものとする。

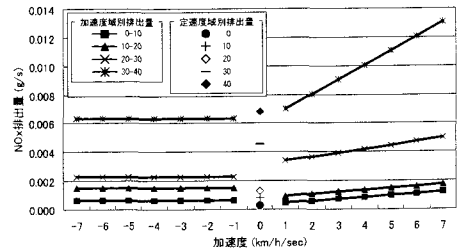


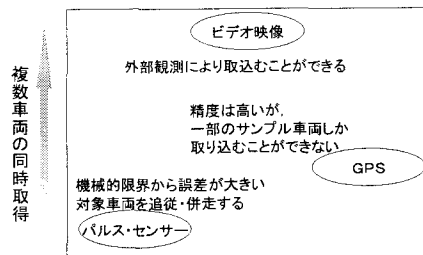
図2 速度域別・加速度別原単位(NOx)

3. 車両挙動取り込み手法の選定と誤差の計測

(1) 車両挙動の取得について

(a) 車両取り込み手法の比較

詳細な現況再現や、交通流シミュレーションモデル構築のためには、車群内のすべての車両挙動の取得が必要である。従来、車両挙動の取込みにパルスセンサーを用いた事例がみられるが、車群内すべての車両を取り込むことができず、誤差も大きい¹⁾。近年、GPSを使い車両挙動を小さい誤差で取り込む手法が用いられているが²⁾、同様に、車群内のすべての車両を取込むことができない。



精度
図3 取り込み手法の比較

* キーワード: 交通流、交通公害、交通管理、車両挙動
** 学生員: 筑波大学大学院環境科学研究科
*** 正会員: 筑波大学社会工学系
〒305-8573 つくば市玉台1-1
TEL 0298-53-5591 FAX 0298-53-5591

そこで、本研究では外部からの観測が有効であるとの認識にもとづき、対象道路区間をビデオ撮影し、車両挙動を取り込むものとする(図3)。

(b)調査概要

調査地点は交通量と大型車混入率が比較的多い、つくば市の県道24号と55号の交差点において、第3車線の停止線を挟む125mの区間とした。また、対象車両は信号で停止し、その後発進する車両とした(表1、図4)。

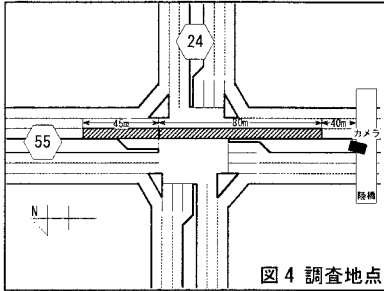


図4 調査地点

表1 調査概要

調査対象日	調査対象時間	取り込みデータ		
		車群数	台数	内大型車
2001/01/05 金曜日	07:30-09:00	38	151	7

(c)PC座標の取得と実座標への座標変換

今回用いる排出量原単位は、1秒ごとの原単位である。よって、車両挙動は、それよりも細かく取得する必要がある。そこでDV(Digital Video)撮影した画像をPCに0.2秒間隔で取り込み、JPEG画像(640×480 pixel)に変換し、独自に作成したデジタイザソフトによって、各車両のPCディスプレイ上における座標(以下、PC座標)を取得した。

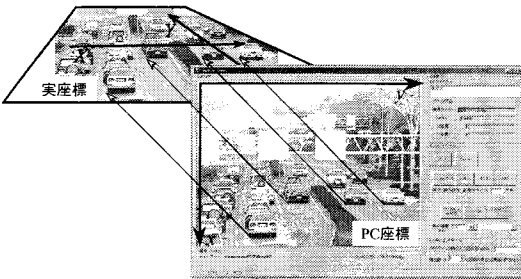


図5 PC-デジタイザーと座標の関係

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_7x + a_8y + 1}, Y = \frac{a_4x + a_5y + a_6}{a_7x + a_8y + 1} \quad \dots \text{式1}$$

ここで、 $a_1 \sim a_8$: パラメータ
 x, y : PC座標
 X, Y : 実座標

しかし、PC座標系は、実際の座標系(以下、実座標系)と異なるため(図5)、式1の射影変換式を用いて、変換を行う必要がある。式における、 $a_1 \sim a_8$ はパラメータであるが、このパラメータは、各座標系において、4つ以上の実測した

基準点を設定し、最小二乗法により推計した(表2)。 a_2 のみ値が低くなっているものの、比較的良好な変換式が導かれた。

表2 パラメータ推計結果

パラメータ	係数	t値
a_1	-2.79E-03	-5.78
a_2	3.31E-05	0.07
a_3	6.93E+00	3.44
a_4	3.28E-03	3.86
a_5	-1.60E-02	-6.41
a_6	-1.29E+02	-2.62
a_7	2.67E-05	3.98
a_8	-5.27E-04	-9.09
決定係数		0.99
標準誤差		0.52

(2)誤差に関する検討

導出された実座標は誤差を含んでいる可能性がある。そこで、考えられる誤差(表3)について検討をおこなった。

表3 考えられる誤差と本研究における名称

系統誤差	器械誤差(器械の狂い)
	自然誤差(屈折等)
	個人誤差(作成者間での標定地点のずれ)
確率誤差	標定誤差
	内包誤差

(a)系統誤差

誤差の発生が、規則的に発生し、一般的にその排除が可能である系統誤差であるが、まず、実際の道路で観測した場合、起伏の存在による誤差の発生が考えられる。しかし、今回の対象道路においては大きな起伏が存在しないため、PC座標、実座標とも平面を仮定するものとする。

次にカメラ特性(器械誤差)、レンズ特性から光学的歪み(自然誤差)が発生している可能性があるが、この誤差を補正することは困難なため、同様に本研究では考慮しない。

さらに個人誤差であるが、標定する地点をタイヤと地面の接地点(図6)であると定めた。データ作成者の影響を排除するため、車群単位で作成者を割り振り、個人誤差を抑えた。

(b)確率誤差

次に、偶発的に発生し、その除去が困難な確率誤差では、まず、タイヤと道路の色調の類似により誤った場所を標定する可能性が考えられる。そこで、任意に車両を5台抽



図6 標定地点

出し、標定を誤る可能性がある範囲(標定誤差範囲:S)と車両の位置との関係を求めた。ここで、標定誤差範囲をタイヤと地面との接地点を中心とする、長軸:短軸 = $a:b$, ($a = 0.7b$)の楕円と仮定した。車両位置それぞれの地点におけるSから a , b (PC座標)を、さらに式1を用いて、実座標上での標定誤差 l_1 , l_2 , m_1 , m_2 を求めた。

標定誤差 = $Max(l_1, l_2, m_1, m_2)$ となる。

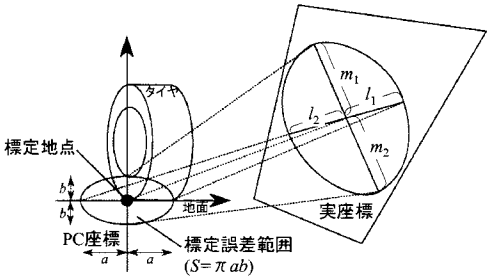


図 7 標定誤差の概念

これとは別に、pixel の大きさに起因する内包誤差も考えられる(図 8)。これについては、誤差伝播の法則(式 2)を用いて誤差を推計した。図 9 は、標定誤差と内包誤差を示しているが、-3m より下流側では標定誤差を、上流側では内包誤差を考慮すればよいことが分かる。また、そのときの誤差は、0.45m となり、概ね小さいことが分かる。

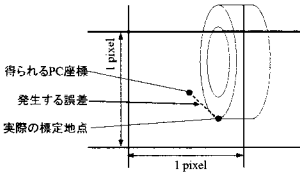


図 8 標定誤差の概念

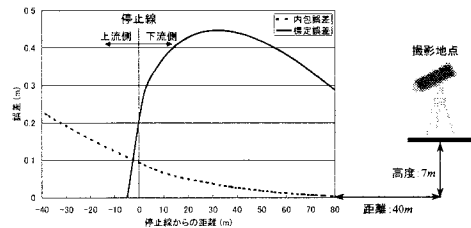


図 9 計測された誤差

$$M = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial x}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial y}\right)^2 m_2^2} \quad \cdots \text{式 2}$$

M : 内包誤差

X,Y : 実座標における (X,Y)

x,y : PC座標における (x,y)

m_1,m_2 : (x,y) における1pixelが占める実際の長さ

4.算出される車両挙動の考察

ビデオ画像から取り込んだ実座標は、誤差を含んでい

るため、その値を直接用いると、速度にバラツキが見られる。従来、実座標の平滑化に移動平均を用いた事例がみられるが、その場合、発進直後の挙動を平滑化することができない。そこで、本研究では与えた点の近傍点を考慮して滑らかな曲線で結ぶことが可能である 3 次の B-Spline を用いて平滑化を行った(式 3)。

$$P(m) = \sum_{i=1}^n P_i N^3(i-m) \quad \cdots \text{式 3}$$

$P(m)$: 変換後の地点 m の座標

P_i : 変換前の地点 i の座標

$N^3(t)$: 重み関数

ここで、 $P(1)=P_1$, $P(n)=P_n$

$$N^3(t) = \begin{cases} (3|t|^3-6|t|^2+4)/6 & (|t| < 1) \\ -(t-2)^3/6 & (1 \leq |t| < 2) \\ 0 & (|t| \geq 2) \end{cases}$$

導かれた位置座標を用いて、速度変化を求めた。平滑化を行う前は、速度が大きく振動しているが、平滑化後は滑らかな曲線を描くようになった(図 10)。

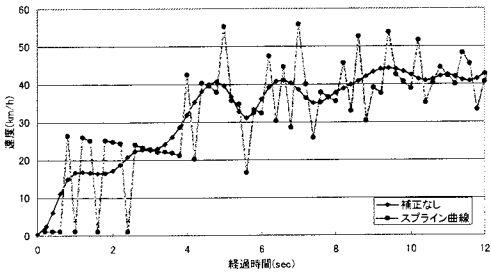


図 10 平滑化前後における速度推移の比較

このように導かれた車両挙動を用いて、先頭からの台数別に速度推移を求めた(図 11)。図 11 上段のような車群先頭車両の場合、自由走行となるため、速度分散が大きくなることが分かる。一方、下段のように車群 6 台目の車両は、追従走行となり、前車からの制約を受け、速度分散は先頭車両に対して小さい。

5.排出ガス量の推計

導出された車両挙動をもとに、速度域別・加速度別原単位を用いて排出ガス量を算出した。用いる速度域別・加速度別排出ガス原単位¹⁾であるが、昭和 53 年における規制値の車両を用いて作成されているため、現在の排出量と異なることが考えられるが、排出量の大小関係や、加速強度による排出特性は、現状のものと大きな差異はないと考える。

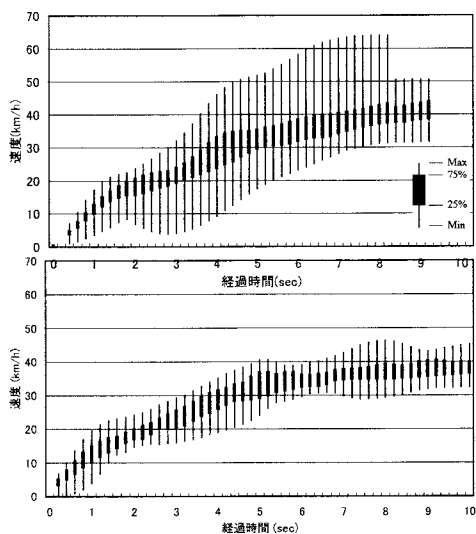


図 11 先頭車両（上段）と 6 台目（下段）の速度推移

排出量を算出するとき、リンク単位での集計では、車両挙動を考慮できない。本研究では、加速挙動時においても排出量分布を再現できるよう、リンクを 5m 単位で分割し、区間毎に排出量を推計した。単位時間内の移動が複数の区間にまたがる場合、それぞれの区間内における所要時間によって排出量を配分した。

この方法を用いて、今回は信号で一旦停止し、その後青現示になってから、発進する車両のみの排出量を求めた。なおアイドリングによる排出量は含まれていない(図 12)。

その結果、乗用車においては、加速挙動時に排出量が増加し、その後、定速状態に移行するに従い、排出量が減少傾向を示す。表 1 より、大型車混入率は、4.6%であったが、NOx 排出量の 40.3%を占めている。このような結果からも、大型車の排出量抑制が有効であるといえる。

さらに、一般的に用いられる旅行速度別原単位(昭和 53 年規制値)に本研究で取得した台数を乗じて排出ガスを推計し、比較を行った。旅行速度であるが、参考文献 1)の調査結果を元に、30km/h と設定した。本研究においては、アイドリングによる排出を考慮していないため、-25m 地点より、上流では、排出量が少ない。しかし、停止線前後の地点においては加速挙動となっているため、旅行速度を用いた推計値よりも多いことが分かる。また、車種別で見た場合(図 13)、乗用車は若干減少する一方、大型車は大幅に増加し、その結果、総排出ガス量も増加していることが分かる。

6. 結論と今後の課題

本研究により、ビデオ撮影から車群内における複数車両の同時取得が可能となり、車群を考慮した交通流モデルの入力用データの作成が可能となった。また、その計測値に含まれる誤差が比較的小さいことが明らかとなり、効果的な排出量削減策の方向性を示すことができた。

今後の課題として、今回の結果を交通流モデルの入力データとして用いて、Hot Spot における自動車排出ガス削減を目的とした道路整備・交通管制の最適化が考えられる。

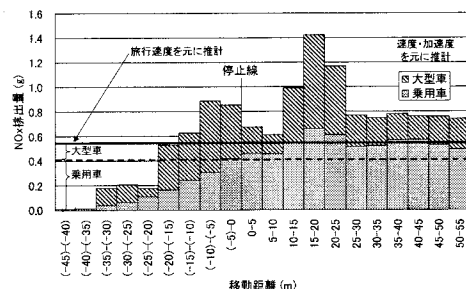


図 12 NOx 排出量比較

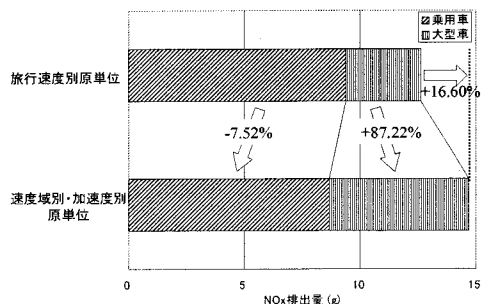


図 13 手法の違いによる排出ガス総量の比較

【参考文献】

- 1) 矢島岳幸, 古屋秀樹: 車両挙動を考慮した自動車排出ガス総量算出手法に関する研究, 第 27 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 662-663, 2000
- 2) 岡本直久: プローブカー調査による交通流特性の分析と今後の課題, 第 37 回土木計画学シンポジウム論文集, pp. 131-136, 2001
- 3) 中村良太, 赤羽弘和: 複数のビデオカメラによる車両軌跡の連続観測システムの開発, 土木計画学研究・講演集, No. 22(1), pp. 575-578, 1999
- 4) 池上宜伸, 山中英生, 中田博之: 実車両挙動分析による小交差点出会頭事故防止 ITS システムのリンクワイアメント分析, 土木計画学研究・講演集, No. 23(1), pp. 735-738, 2000
- 5) (社)日本写真測量学会: 解析写真測量, (社)日本写真測量学, 1983
- 6) 金山直司, 古屋秀樹, 石田東生: 車両位置データ取込み手法に関する基礎的研究, 第 28 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 562-563, 2001